

## 移去恢复法负荷潮效应格林积分法区域精化

海潮负荷效应格林积分法精化计算的一般流程可表述为：(1) 选择一个区域高分辨率海潮调和常数格网模型和作为参考潮汐场的全球海潮负荷球谐系数模型，由海潮负荷球谐系数模型，计算区域海潮调和常数参考值格网；(2) 从区域高分辨率海潮调和常数格网模型中，移去参考模型值，得到区域海潮调和常数残差值格网，这个步骤称为“移去”；(3) 采用较小的积分半径，按负荷格林函数积分法计算目标点海潮负荷效应残差值；(4) 由全球海潮负荷球谐系数模型，计算目标点海潮负荷效应参考模型值；(5) 将目标点海潮负荷效应的残差值与参考模型值相加，就得到目标点海潮负荷效应的精化值，这个步骤称为“恢复”。整个流程也可称为“移去-负荷格林函数积分-恢复”方案。

下面选择位于海岸带区域 $P_2(121.3^\circ E, 28.8^\circ N, h11m)$ 和离开海岸线 200km 的海域海岛上 $P_3(123.47^\circ E, 25.75^\circ N, h3m)$ 两个计算点，采用由 10 个分潮调和常数模型构成的中国近海 $1.2^\circ \times 1.2'$ 高精度海潮模型 TMchinaR1 (暴景阳, 许军, 2013)，以 720 阶全球海潮负荷球谐系数 (cm) 模型 FES2014b720cs.dat 为海潮负荷参考场，按移去-负荷格林函数积分-恢复法计算这两个地面点处各种大地测量要素的海潮负荷效应残差值和精化值时间序列。时间跨度仍然为 2020 年 1 月 1 日 0 时至 2020 年 1 月 31 日 24 时，时间间隔 30 分钟。分析海潮球谐系数模型误差影响及高分辨率海潮负荷形变效应的空间和时变特点。

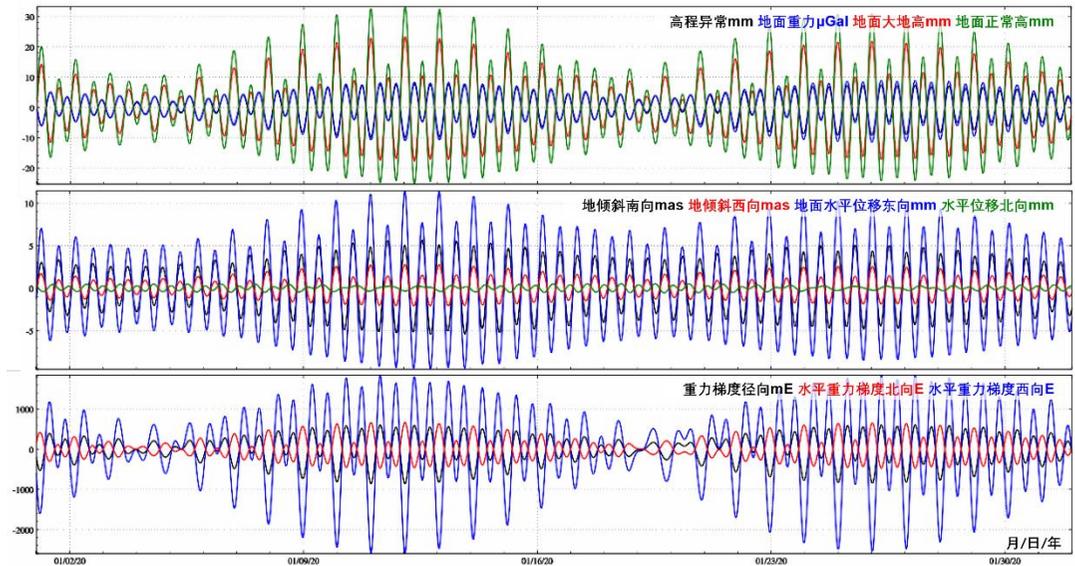


图 1 海岸 $P_2$ 点大地测量全要素海潮负荷效应残差值时间序列

首先，由 720 阶全球海潮负荷球谐系数模型 FES2014b720cs.dat，计算中国近海 $1.2^\circ \times 1.2'$ 海潮调和常数模型值格网，格网规格和分潮类型与中国近海高精度海潮模型 TMchinaR1 相同，进而将中国近海海潮模型 TMchinaR1 的 10 个分潮调和常数格网分别减去对应分潮调和

常数模型值格网，生成中国近海 10 分潮的调和常数残差值格网。

第二步，采用负荷格林积分法，选择较小的积分半径（本例采用 300km 积分半径），由中国近海 10 分潮  $1.2' \times 1.2'$  调和常数残差值格网，分别计算  $P_2$  和  $P_3$  两个点处各种大地测量要素的海潮负荷效应残差值时间序列。时间跨度 2018 年 1 月 1 日至 2020 年 12 月 31 日，时间间隔 30 分钟。如图 1 和图 2。

最后，将第一步计算的  $P_2$  和  $P_3$  处各种大地测量要素的海潮负荷效应残差值时间序列与第二步计算的各种大地测量要素的海潮负荷效应残差值时间序列分别相加，就是  $P_2$  和  $P_3$  两个点处各种大地测量要素的海潮负荷效应精化值时间序列。图 3 为海岸  $P_2$  点各种大地测量海潮负荷效应精化值时间序列。

不难理解，各种大地测量要素的海潮负荷效应残差值时间序列，也表示 720 阶 FES2014b 海潮球谐系数模型误差对相应大地测量变化量的影响。图 1 和图 2 显示，即使是 720 阶 FES2014 这样质量较好的高阶海潮球谐系数模型，海潮模型误差对沿海地区地面正常高影响还可达 5.9cm，对高程异常和大地高的影响分别可达 1.7cm 和 4.1cm，对地倾斜和水平位移的影响分别可达 23.6mas 和 1.6cm。

海潮球谐系数模型误差对扰动重力梯度影响很大，远远超出由海潮球谐系数模型本身计算的海潮负荷效应量级。图 1 显示，即使采用当前很好的全球海潮模型 FES2014b，34 个分潮都展开到 720 阶，海潮球谐系数模型误差对沿海地区扰动重力梯度影响仍然可达 1.50E，对水平重力梯度影响超过 3000E。这说明，扰动重力梯度的海潮负荷效应主要集中在超短波部分，高阶海潮球谐系数模型也无法包含这些超短波信号，不能满足海岸带区域扰动重力梯度海潮负荷效应改正的精度要求，需要超高分辨率、超高精度的区域海潮模型支持。

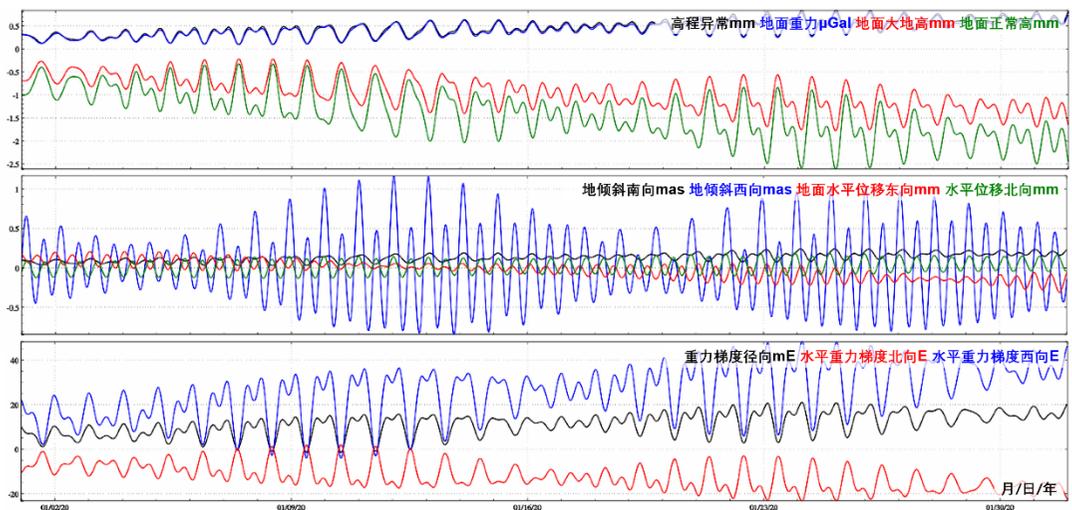


图 2 海岛  $P_3$  点大地测量全要素海潮负荷效应残差值时间序列

图 2 显示，离岸 200km 后的海潮球谐系数模型误差显著下降，除重力梯度外，模型误差

对其他各种大地测量要素的影响较小，但对重力梯度径向影响还可达到 20mE，对水平重力梯度影响仍可超过 40E。

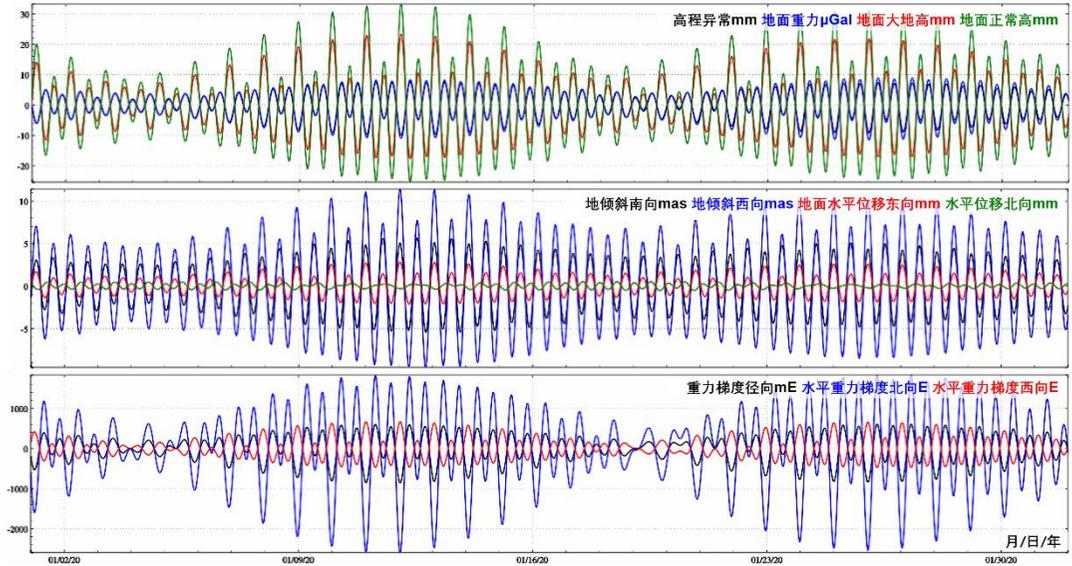


图 3 海岸 $P_2$ 点各种大地测量海潮负荷效应精化值时间序列

顺便指出，重力梯度是扰动位的二阶微分量，采用负荷格林积分法计算重力梯度海潮负荷效应的可靠性不足，图 1 和图 2 中扰动重力梯度和水平重力梯度残差海潮负荷效应残差值时间序列只能作为参考。精确重力梯度的海潮负荷效应，可采用球面径向基函数逼近法。此时需要对海潮模型中的每一分潮调和常数（或残差值）进行球面径向基函数分析，按逼近法构建海潮球面径向基函数（残差）模型，进而采用球面径向基函数综合法计算各种大地测量要素的海潮负荷效应（残差值）。海潮球面径向基函数模型构建与综合技术流程，原则上与全球海潮球谐系数模型构建与综合方案相同，但具体实现技术细节相当繁杂。

全球地面大气压潮（随时间变化量）中长波占优，360 阶球谐系数模型能以足够精度逼近各种大地测量要素（除重力梯度外）的大气压潮负荷效应，在当前及今后一段时期内，一般无需进一步精化。